

Cilt: 1 Sayı: 2 sh. 59-69 Mayıs 1999

LED - FOTODİRENÇ ÇİFTİ İLE TASARLANMIŞ OPTOELEKTRONİK OSİLATÖR

(OPTOELECTRONIC OSCILLATOR DESIGNED WITH LED - PHOTORESISTOR PAIRS)

Eldar MUSAYEV, İsmail TEKİN

Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümü

ÖZET / ABSTRACT

Klasik osilatörlerin frekanslarını, devrede kullanılan kondansatörler belirler. Düşük frekans üreten osilatörlerde kullanılan kondansatörlerin kapasitesi, dolayısıyla boyutları çok büyük olmaktadır. Bu da osilatörün entegre veya çip şeklinde tasarlanmasını engeller. Optoelektronik osilatörlerde ise frekans belirleyici devrelerinde büyük boyutlu kondansatörler yerine fotoalıcı - LED çifti kullanılır (Musayev, E.). Optoelektronik osilatörler düşük frekanslı titreşimler üretmek, ışın şiddetini frekansa dönüştürmek, bir cismin emilme veya yansıma katsayılarını frekansa dönüştürmek amacıyla kullanılabilirler.

Frequency of classical oscillators are determined by the size of capacitors that are used in the circuit. Capacitors which are used in low frequency oscillators are very big in size due to their large capacity values. This is a drawback for the low frequency oscillators to be designed as integrated circuits and chips. Instead of large capacitors, photoreceiver -LED pairs are used in frequency-defining section of optoelectronic oscillators. Optoelectronic oscillators can be used to generate low frequency vibrations, to convert light to frequency, and to convert absorption and reflection coefficients of an object to frequency.

ANAHTAR KELİMELER / KEY WORDS

optoelektronik, osilatör, LED, fotodirenç, ışık, frekans. / *optoelectronic, oscillator, LED, photoresistor, light, frequency.*

1. GİRİŞ

Elektronikğin bir dalı olan optoelektronik, günümüzde çok hızlı gelişmektedir. Işın vericiler, fotoalıcılar, ve bunların elektronik devreleri ile bağlantıları ve bu şekilde elde edilen devrelerin analizi optoelektronikğin temelini oluşturmaktadır. Optoelektronik devreler ile çeşitli sistemler tasarlanabilir. Bu makalede LED - fotoalıcı çifti ile tasarlanmış optoelektronik osilatör devresi incelenmiştir. Optoelektronik osilatörün temelinde darbeli ışın ile ışıktandırılmış fotodirencin zaman sabiti vardır. Yani fotodirencin ışığa duyarlı yüzeyine düşen ışık ile direncin değişimi arasında olan gecikmedir. Optoelektronik osilatörde klasik osilatörlerdeki gibi kondansatör - direnç veya endüktans - direnç devreleri kullanılmamaktadır. Böylece düşük frekanslı sinyal üretiminde büyük değerli ve boyutlu kondansatör kullanılması zorunluluğu ortadan kaldırılmıştır. Osilatörün frekans belirleyici devresi LED-fotodirenç çifti ile geliştirilmiştir.

2. OPTOELEKTRONİK OSİLATÖRÜN TEORİSİ, YAPISI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Optoelektronik osilatörlerin frekans belirleyici devresinde LED - fotoalıcı çifti kullanılmaktadır. Fotoalıcı, darbe şeklinde modüle edilmiş bir ışık ($F(t)$) ile uyarılırsa elde edilen fotosinyal aşağıdaki denklem ile belirlenir. (Musayev, 1997)

$$\tau \frac{dU}{dt} + U(t) = S_0 \cdot F(t) \quad \dots\dots\dots(1)$$

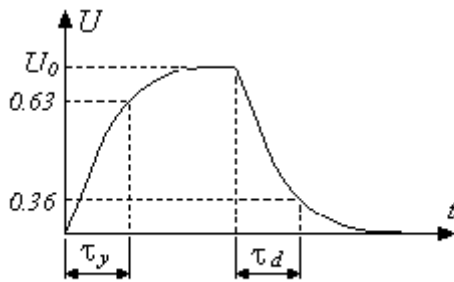
Burada $U(t)$; fotosinyal, $F(t)$; fotoalıcının ışığa duyarlı yüzeyine düşen ışık, τ ; zaman sabiti, S_0 ; fotoalıcının duyarlılığıdır. LED akımı ile ışık gücünün değişimini ($P_{LED} = K_{LED} \cdot I_{LED}$) lineer olduğunu kabul ederek fotosinyalin ifadesi,

$$\tau \frac{dU}{dt} + U(t) = S_0 K_{LED} I_{LED}(t) \quad \dots\dots\dots(2)$$

şeklinde elde edilir. Burada, $I_{LED}(t)$; LED akımı, K_{LED} ; LED'in akımı ışığa çevirme katsayısıdır. Bu diferansiyel denklemin çözümü fotoalıcının geçit karakteristiğini ifade eder. Fotosinyalin yükselme ve düşme süreleri eksponansiyel denklemler ile gösterilebilir.

$$U_1(t) = U_0 \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{t_D}{\tau_y}\right) \right] \quad U_2(t) = U_0 \cdot \left[\exp\left(-\frac{t_B}{\tau_d}\right) \right] \quad \dots\dots\dots(3)$$

Burada, $U_1(t)$; sinyalin yükselmesi, $U_2(t)$; sinyalin düşüşü, t_D ; darbe süresi, t_B ; boşluk süresi, τ_y, τ_d ; yükselme ve düşme zaman sabitleri, U_0 ; sinyalin maksimum değeridir. Bu denklemlerden ve Şekil 1'den de görüldüğü gibi fotosinyalin yükselme ve düşme süresi bir zaman sabitine sahiptir. Bu zaman sabiti fotoalıcının yapısına ve tipine göre değişir. Örneğin fotodirençler için bu zaman sabiti çok büyük, fotodiyotlar ve fototranzistörler için ise daha küçüktür. Tasarlanan optoelektronik osilatörün istenen frekans bölgesini kapsamaması için gerekli fotoalıcı seçilebilir.



Şekil 1.

Şekil 2'de optoelektronik osilatörün şeması gösterilmiştir. Optoelektronik osilatör iki N-P-N tranzistörden, dirençlerden ve LED - fotodirenç çiftinden geliştirilmiştir. Devredeki tranzistörlerin çalışma rejimlerini R_1, R_2, R_3, R_4 dirençleri ve fotodirenç - LED çifti belirler.

Optoelektronik osilatörün frekansı $f = \frac{1}{t_D + t_B}$ dır. Şekil 5’de gösterildiği gibi $U_1(t) = U_1$ ve $U_2(t) = U_2$ alınarak optoelektronik osilatörün çıkışında elde edilen kare darbelerin süresi t_D ve boşluk süresi t_B bulunabilir:

$$U_0 \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{t_D}{\tau_y}\right) \right] = U_1 \quad U_0 \cdot \left[\exp\left(-\frac{t_B}{\tau_d}\right) \right] = U_2 \quad \dots\dots\dots(4)$$

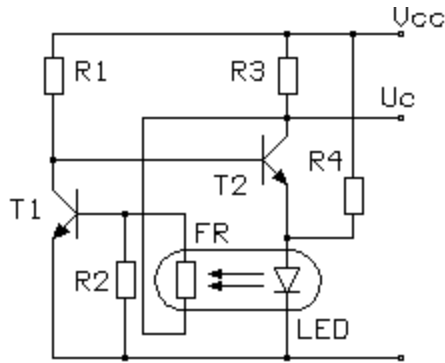
Bu denklemlerden t_D ve t_B zamanları aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$t_D = \tau_y \cdot \ln\left[\frac{U_0}{U_0 - U_1}\right] \quad t_B = \tau_d \cdot \ln\left[\frac{U_0}{U_2}\right] \quad \dots\dots\dots(5)$$

Böylece osilatörün frekansı,

$$f = \frac{1}{t_D + t_B} = \frac{1}{\ln\left[\frac{(C \cdot K_{LED} \cdot I_{LED})^{\tau_y + \tau_d}}{(C \cdot K_{LED} \cdot I_{LED} - U_1)^{\tau_y} \cdot U_2^{\tau_d}}\right]} \quad \dots\dots\dots(6)$$

olur. Optoelektronik osilatörde gereken faz farkı fotodirencin zaman sabiti ile oluşan gecikme süresi ile elde edilir.



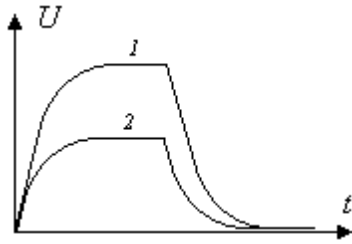
Şekil 2. Optoelektronik osilatörün şeması.

Osilatörün frekansı, (devrede bulunan dirençlerin değerleri sabit olması koşuluyla) fotodirencin karanlık (R_{FRK}) ve ışıklandırılmış durumdaki dirençleri ($R_{FRışık}$) ve LED’in akımı ile belirlenir. Çünkü fotodirencin direnci LED’den gelen ışık ile belirlenir. LED’in ışını ise üzerinden geçen akım ile belirlenir.

$$R_{FR} = C \cdot K \cdot I_{LED} \quad \dots\dots\dots(7)$$

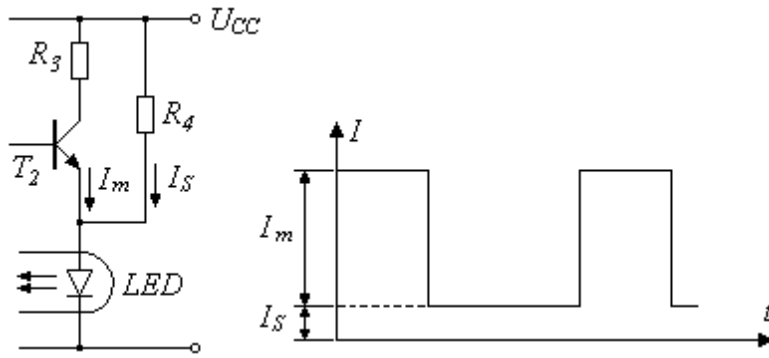
Burada, C ; fotodirencin ışını dirence çevirme katsayısı, K_{LED} ; LED'in akımı ışına çevirme katsayısı, I_{LED} ; LED'in akımıdır.

Fotodirencin karanlık direnci çok büyük değerlere sahiptir (genelde 10 MW 'lar mertebesinde). Bu da devrenin kararlılığını ve frekansını olumsuz etkilemektedir. Karanlık direncin değerini azaltmak için optoelektronik osilatörde R_4 direnci kullanılmıştır. Bu direnç LED üzerinde sabit bir akım oluşturmakta ve karanlık direncin mertebesini belirlemektedir. Yani karanlık direnci ışık olmadığı değerden yeni bir ışıklandırılmış mertebeye düşürmektedir. Bu durum grafik olarak Şekil 3'de gösterilmiştir. Burada birinci eğri (1) fotodirenç üzerine ışık düşmediği durum içindir. İkinci eğri (2) ise LED üzerinden sabit bir akım (R_4 direnci ile sağlanan akım) geçtiği durum içindir.



Şekil 3.

Bu durumda LED üzerinden iki akım akmaktadır. Birinci akım R_4 direnci ile belirlenen sabit akımdır. İkinci akım ise T_2 tranzistörü üzerinden akan modüleli akımdır. Şekil 4'de LED üzerinden akan akımlar ve bu durumu açıklayan zaman diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 4.

LED üzerinden akan toplam akım,

$$I_{LED} = I_m + I_s \dots\dots\dots(8)$$

dır.

Burada, I_s ; R_4 direnci ile belirlenen akımdır. Bu akım fotodirencin karanlık direncini gereken seviyeye düşürmektedir. I_m ; modüle edilmiş akımdır. Şekil 4'den de görüldüğü gibi bu akım genelde kare dalga şeklindedir.

LED üzerinden akan sabit akım değeri,

$$I_s = \frac{V_{CC} - U_{LED}}{R_4} \dots\dots\dots(9)$$

şeklinde dir. (9) nolu formülü (7) nolu formülde yerine konarak fotodirencin yeni karanlık direnci,

$$I_{LEDK} = \frac{V_{CC} - U_{LED}}{R_4} \dots\dots\dots(10)$$

şeklinde elde edilir. Burada U_{LED} ; LED'in eşik gerilimidir. Fotodirenç karanlık durumda iken T_1 tranzistörü kesimdedir ve dolayısıyla LED üzerinden akım akmaz. T_2 tranzistörünün kollektör gerilimi yaklaşık olarak besleme gerilimine eşit olur. Fotodirencin karanlık direnci, R_2 direncine ve birinci tranzistörün giriş direnci h_{ie} 'ye göre çok büyük olduğundan birinci tranzistörün baz akımı fotodirencin karanlık akımına eşit olur:

$$I_{B1K} = I_{FRK} = \frac{V_{CC}}{R_{FRK}} = \frac{V_{CC}}{C.K_{LED} \frac{V_{CC} - U_{LED}}{R_4}} \dots\dots\dots(11)$$

olur. Bu akım T_1 tranzistörünün durumunu değiştirmek için yeterli değildir. Tranzistör T_1 kesimde iken, tranzistör T_2 doyuma gider ve LED üzerinden akım akmaya başlar. LED'in ışığı fotodirencin ışığa duyarlı yüzeyine düşer. Bu durumda fotodirencin ışıklandırılmış durumdaki direnci,

$$R_{FR_{ışık}} = C.K.(I_{LED_{ışık}} + I_{LEDK}) \dots\dots\dots(12)$$

formülü ile belirlenir. Işıklandırılmış durumdaki direnci oluşturan LED akımın değeri,

$$I_{LED_{ışık}} = \frac{V_{CC} - U_{LED} - V_{T2}}{R_3} \dots\dots\dots(13)$$

LED'in R_3 ve R_4 dirençleri ile oluşan akımları hesaba alarak fotodirencin direnç değeri,

$$R_{FR_{ışık}} = C.K. \left[\frac{V_{CC} - (V_{T2} + U_{LED})}{R_3} + \frac{V_{CC} - U_{LED}}{R_4} \right] \dots\dots\dots(14)$$

olur. Tranzistör üzerinde düşen gerilimi dikkate almazsak fotodirencin direnç değeri,

$$R_{FR_{ışık}} = C.K_{LED}.(V_{CC} - U_{LED}). \frac{R_3 + R_4}{R_3.R_4} \dots\dots\dots(15)$$

olur. Fotodirenç üzerine ışık düştüğü durumda fotodirenç üzerinden akan akım,

$$I_{FR_{1\text{ışık}}} = \frac{V_{CC} - (I_m + I_{FR_{1\text{ışık}}}) \cdot R_3}{R_{FR_{1\text{ışık}}} + (R_2 // h_{ie1})} \dots\dots\dots(16)$$

olur. Burada h_{ie1} , birinci tranzistörün giriş direncidir. $R_{FR_{1\text{ışık}}} + (R_2 // h_{ie1}) = R_B$ olarak kabul ederek ve ara hesaplamaları atlayarak,

$$I_{FR_{1\text{ışık}}} = \frac{V_{CC} - I_m \cdot R_3}{R_B + R_3} \dots\dots\dots(17)$$

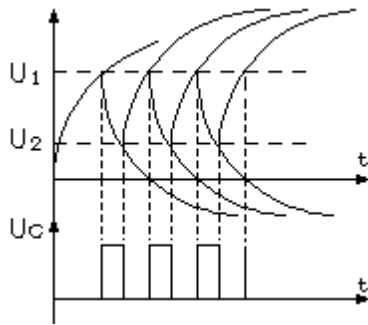
şeklinde olur. $I_{B_{1\text{ışık}}} = I_{FR_{1\text{ışık}}} - I_{R_2}$ olursa ve $I_{R_2} = \frac{U_{BE1}}{R_2}$ olarak kabul edersek T_1 tranzistörünün baz akımı,

$$I_{B_{1\text{ışık}}} = \frac{V_{CC} - I_m \cdot R_3}{R_B + R_3} - \frac{U_{BE1}}{R_2} \dots\dots\dots(18)$$

olur. Burada U_{BE1} , birinci tranzistörün baz - emetör gerilimidir. T_2 tranzistörünün baz akımı, T_1 tranzistörü kesimde iken akar ve R_1 direnci ile belirlenir. T_2 tranzistörü doyumda çalışır.

Optoelektronik osilatörün düzgün ve verimli çalışması için devrede kullanılacak olan elemanlar uygun şekilde seçilmelidir.

Optoelektronik osilatör, besleme gerilimine bağlandığında T_1 tranzistörü kesimdedir. Çünkü fotodirencin direnç değeri çok büyüktür (karanlık direnç). T_2 tranzistörü ise iletimdedir. LED üzerinden akım akar. Bu akım ile oluşan ışık fotodirencin ışığa duyarlı yüzeyine düşmektedir. Fotodirencin direnç değeri bir zaman sabiti ile azalmaya başlar. Bu direnç ile oluşan sinyal U_1 (Şekil 5) değerine ulaşırken T_1 tranzistörü doyuma (iletime) geçer. T_2 ise kesime geçer. LED üzerinden akım geçmez ve ışık kesilir. Fotodirencin direnci bir zaman sabiti ile yükselmeye başlar ve oluşan sinyal değeri U_2 değerine ulaşırken T_1 kesime, T_2 ise iletime geçer ve LED üzerinden yeniden akım akar. Olay bu şekilde periyodik olarak devam eder ve periyodik kare darbeler üretilir. Bu olay Şekil 5’de verilen zaman diyagramları ile gösterilmiştir.

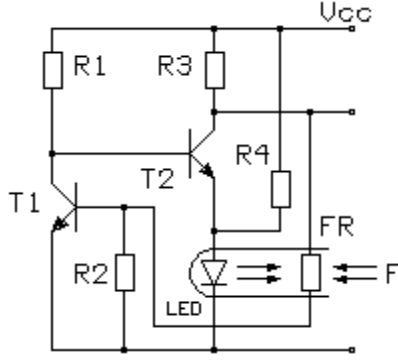


Şekil 5. Optoelektronik osilatörün çalışmasını ifade eden zaman diyagramları.

3. OPTOELEKTRONİK OSİLATÖRÜN ŞEMASI VE PRATİK DENEMELERİ

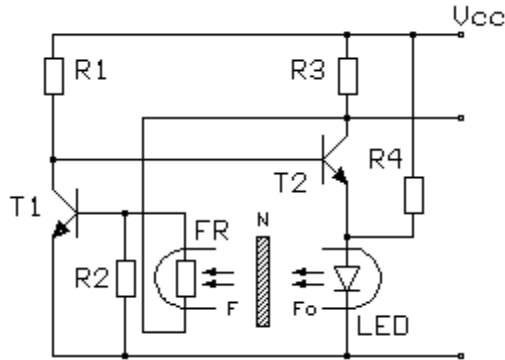
Optoelektronik osilatörler, çeşitli amaçlar için kullanılabilirler. Osilatör devresinde kondansatörlerin olmaması bu devreleri entegre veya çip şeklinde tasarlanmasına olanak verir. Optoelektronik osilatörlerin düşük frekanslarda kullanılması daha avantajlıdır.

LED ile fotodirençin optik bağlantısını sabitleyerek ve fotodirenç, dış ışınlara açık olacak şekilde tasarlanarak ışığı frekansa dönüştüren bir devre elde edilebilir. Şekil 6’da bu amaç için tasarlanmış devrenin şeması gösterilmiştir.



Şekil 6. Optoelektronik osilatörün ışığın şiddetini frekansa çevirmek amacıyla kullanılması.

LED ile fotoalıcı arasındaki optik kanal açık olarak tasarlanırsa bu kanala yerleştirilen çeşitli cisimlerin emilme katsayıları frekansa dönüştürülebilir. Şekil 7’ de bu amaçla tasarlanmış devre örneği gösterilmiştir.



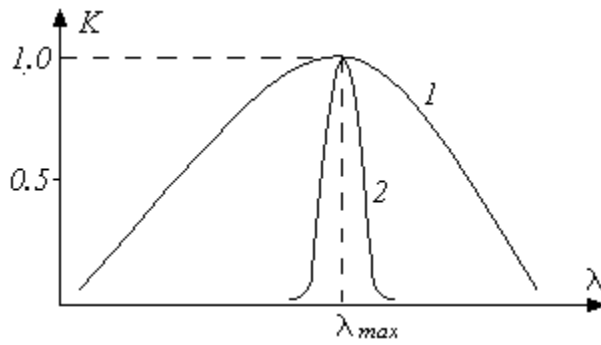
Şekil 7. Optoelektronik osilatörün bir cismin emilme katsayısını frekansa dönüştürme amacıyla kullanılması.

Optoelektronik osilatörün bir devre örneği ve devrenin çeşitli noktalarında elde edilen sinyallerin şekilleri (Şekil 10) gösterilmiştir. Fotodirenç olarak NSL19-M51 tipi fotodirenç kullanılmıştır. Bu fotodirençin katalog değerleri Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.

duyarlılığın maksimum olduğu dalga boyu	550nm
10Lux'luk ışık şiddetindeki direnç değeri	20...100kW
100Lux'luk ışık şiddetindeki direnç değeri	5 kW
karanlık direnci	20M W
maksimum besleme gerilimi	100V
fotodirenç üzerinde harcanan maks. güç	50mW
yükselme zaman sabiti (t_y)	45ms
düşme zaman sabiti (t_d)	55ms
çalışabileceği sıcaklık aralığı	-60° C...75° C

LED olarak yeşil veya sarı ışık veren LED kullanılabilir. Seçilen LED'in spektrum diyagramının maksimumu, fotodirençin spektrum diyagramına Şekil 8'de gösterildiği gibi uygun seçilmelidir. Deneyde L-517 EGW tipi LED kullanılmıştır. Bu LED 10 mA'lık akımda 3,6 mcd'lik ışın şiddetine sahiptir. LED'in eşik gerilimi 1,8 V'tur.



Şekil 8.

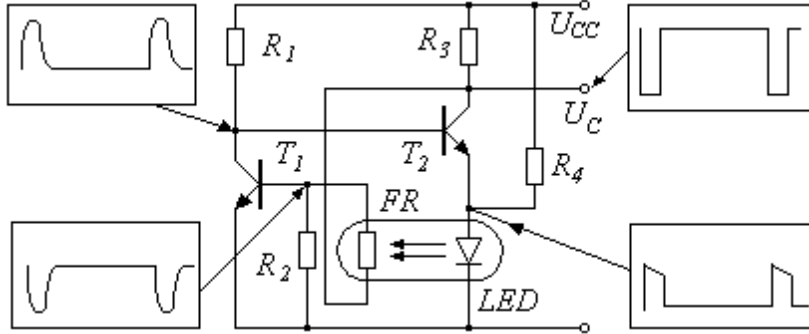
Devrede iki adet BC239 tipi silisyum tranzistör kullanılmıştır. Deneyin amacı devre elemanlarının çıkış işareti üzerindeki etkilerini araştırmaktır.

Denemeler yapılması için Şekil 10'da gösterilen optoelektronik osilatör devresi kurulmuştur. Dış ışığın etkisini engellemek için LED-fotodirenç çifti Şekil 9'da gösterildiği gibi siyah bir boru içine yerleştirilmiştir.



Şekil 9.

Osilatör devresinde kullanılan direnç değerleri şunlardır: $R_1=1k\Omega$, $R_2=22k\Omega$, $R_3=1k\Omega$, $R_4=22k\Omega$. Bu değerler için ve besleme gerilimi $V_{CC}=12V$ olmak üzere devrenin önemli noktalarında elde edilen işaretler Şekil 10'da gösterilmiştir.

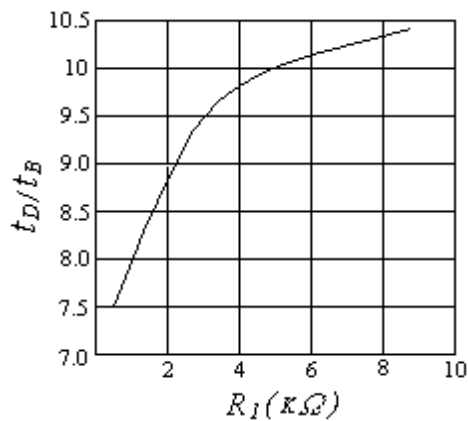


Şekil 10.

Devredeki dirençlerin çıkış işareti üzerindeki etkisini araştırmak için direnç değerleri belli aralıklarda değiştirilmiş ve her bir adımda darbe - boşluk oranı hesaplanmıştır. Bir direncin değerinin etkisi araştırılırken diğer dirençler sabit tutulmuştur. $t_D/t_B=f(R)$ fonksiyonları grafik olarak elde edilmiştir (t_D/t_B 'yi Q ile gösterelim).

Kare dalga üreten osilatörlerde çıkış sinyalinin frekans parametresi yerine darbe boşluk oranını kullanmak daha iyidir. Çünkü bazı durumlarda darbe - boşluk oranı önemli ölçüde değişse de frekans sabit kalabilmektedir. Bundan dolayı denemelerde direnç değerlerinin frekans üzerindeki etkisi yerine darbe - boşluk oranı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Şekil 11'de R_1 direnci 560Ω ile $8,5k\Omega$ arasında değişik değerler alınarak $t_D/t_B=Q$ oranının değişimi tespit edilmiştir.



Şekil 11.

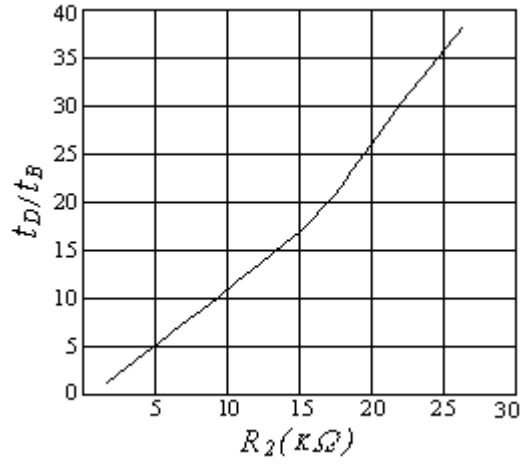
Bu eğrinin MATLAB programı ile elde edilen matematiksel fonksiyonu,

$$Q_I = 0,0013.R_I^3 + 6,8894.R_I^2$$

şeklidedir.

R_I direncinin değeri T_1 tranzistörünün kazancını ve T_2 tranzistörünün doyumunu etkiler. LED üzerinde düşen gerilimin eğilimi (Şekil 10'da görüldüğü gibi) bu direncin değeri ile belirlenir. Bu direncin değeri fotodirencin direncinin düşmesini az miktarda etkiler. Çünkü T_2 tranzistörü doyumda iken LED akımı R_3 direnci ile belirlenir.

Şekil 12'de R_2 direnci 1kW ile 27kW arasında değişik değerler alınarak $t_D/t_B=Q$ oranının değişimi tespit edilmiştir.



Şekil 12.

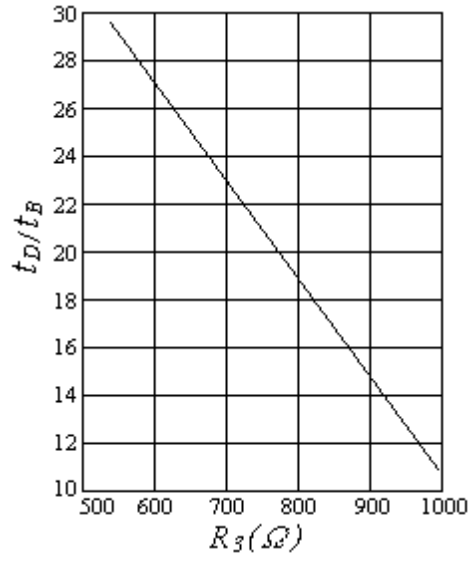
Bu eğrinin MATLAB programı ile elde edilen matematiksel fonksiyonu,

$$Q_2=0,0054.R_2^3 -18,2555.R_2^2$$

şeklidedir.

R_2 direncinin değişimi T_1 tranzistörünün baz gerilimini etkilemektedir. Çünkü bu direnç fotodirenç ile bir gerilim bölücü oluşturur. Ancak fotodirence ışık düştüğünde direnç değeri, R_2 direncinin altına düşer ve etkisini kaybeder.

Şekil 13'de R_3 direnci 560W ile 1kW arasında değişik değerler alınarak $t_D/t_B=Q$ oranının değişimi tespit edilmiştir.



Şekil 13.

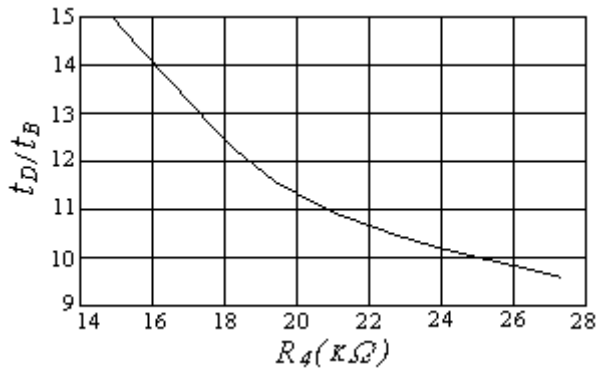
Bu eğrinin MATLAB programı ile elde edilen matematiksel fonksiyonu,

$$Q_3 = -0,0002.R_3 + 0,197$$

şeklidedir.

T₂ tranzistörü doyumda iken LED akımını R₃ direncinin değeri belirler. LED'in akımı arttığında fotodirencin ışıklandırılmış durumdaki direnci düşer. Bu da T₁ tranzistörünün çalışmasını etkilemektedir.

Şekil 14'de R₄ direnci 15kW ile 27kW arasında değişik değerler alınarak t_D/t_B oranının değişimi tespit edilmiştir.



Şekil 14.

Bu eğrinin MATLAB programı ile elde edilen matematiksel fonksiyonu,

$$Q_4 = 0,0004.R_4^3 + 50,8414.R_4^2$$

şeklidedir.

R₄ direncinin değeri fotodirencin karanlık seviyesini değiştirmektedir. Sinyalin yükselme bölgesini fazla etkilemez. Bu direncin asıl fonksiyonu fotodirencin karanlık direncini düşürmesidir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada optoelektronik osilatör tasarlanmıştır. Optoelektronik osilatörün frekans belirleyici devresinde kondansatör yerine fotoalıcı - LED çifti kullanılmıştır. Osilatörün yapısı ve çalışma prensipleri açıklanmıştır. Optoelektronik osilatörün kullanımını ifade eden örnekler gösterilmiştir. Pratik olarak LED - fotodirenç çiftiyle bir osilatör devresi tasarlanmıştır ve pratik sonuçlar elde edilmiştir.

5. KAYNAKLAR:

- 1) MUSAYEV, E., “Optoelektronik osilatör”. Patent No: 630733.
- 2) MUSAYEV, E. (1997): “Optoelektronik”, Bursa, Uludağ Üniv. Basımevi, No:122, 143 s.